Was heisst schon geschützt – Fachwerkbrücke über die Wiese und die B 317 in Lörrach

Josef Schmees
Zimmermeister
Schmees & Lühn GmbH & Co.KG
Fresenburg, Deutschland

Was heisst schon geschützt – Fachwerkbrücke über die Wiese und die B 317 in Lörrach

Brücke im Zuge eines Gehweges über die B 317 und die Wiese bei Lörrach

1983 wurde im Rahmen der Landesgartenschau im baden-württembergischen Lörrach als Zuwegung zum Grütt-Park vom Stadtteil Lörrach-Haagen eine Fuß- und Radwegbrücke über den Fluss Wiese und die Bundestraße 317 errichtet. Als Größte von derzeit 29 Holzbrücken im Regierungsbezirk Freiburg ist das Bauwerk in Fachkreisen noch heute weitläufig bekannt. Die Brücke wurde damals als überdachte Fachwerkbrücke, jedoch ohne seitlichen Witterungsschutz, konzipiert und überspannt mit einer Durchgangsbreite von 2,8 m und einer Gesamtlänge von 84 m die Straße und den Fluss. Ein lamellenförmiger Schutz der Fachwerkträger wurde erst zu einem späteren Zeitpunkt angebracht, konnte jedoch nicht alle Bauteile ausreichend schützen. Nach der Feststellung umfangreicher Schäden am Haupttragwerk stand 2016 der Ersatzneubau an.

Abbildung 1: Ansicht Brücke neu, Quelle: Markus Ruf

Planung der neuen Brücke

Im Planungsprozess war sofort klar, dass die Architektur des Bauwerkes erhalten bleiben sollte. Jedoch wurde aus architektonischen, statischen und konstruktiven Gründen die Konstruktion optimiert und dem aktuellen Stand der Technik angepasst. An vorderster Stelle stand dabei ein verbesserter konstruktiver Holzschutz, der die theoretische Lebensdauer von 60 Jahren gemäß Ablöserichtlinie erfüllt. Zudem sollte die Architektur des Bauwerkes leichter und transparenter wirken.

Konstruktiver Holzschutz

Um das Fachwerk besser vor Witterung zu schützen und die Höhe des seitlichen Witterungsschutzes zu reduzieren, wurde der Dachüberstand von ursprünglich 70 cm auf 95 cm vergrößert. Das Pfettendach mit sichtbarer Dachkonstruktion wurde mit einer auf 20 mm

Lärchenschalung aufgebrachten Stehfalzeindeckung abgedichtet. Außerdem wurde eine Regenrinne angebracht. Die Dachkonstruktion schützt somit komplett die obenliegende horizontale Aussteifung sowie die seitlichen Fachwerke bis zu einem Maß von 2,16 m unterhalb der Dachdeckung bei Annahme einer Regeneinfalllinie von 30° gegenüber der vertikalen Ebene (Empfehlung DIN EN 1995-2). Durch den vergrößerten Dachüberstand konnte der seitliche Witterungsschutz auf einer Höhe von 1,3 m ab OK Belag angebracht werden statt zuvor auf ca. 1,9 m.

Die seitliche Schalung wurde aus schräg angebrachten Lamellen auf einer Unterkonstruktion aus Lärchenholz hergestellt. Die Lamellen bestehen aus einer 27 mm x 240 mm Dreischichtplatte aus Lärche. Die Befestigung der Lamellen auf der Unterkonstruktion erfolgt mit sichtbaren Schrauben, sodass jede einzelne Lamelle ohne größeren Aufwand ausgewechselt werden kann. Den oberen Abschluss bildet ein Brüstungsbrett aus Lärchenholz, das zwischen die Pfosten des Fachwerkes montiert wurde.

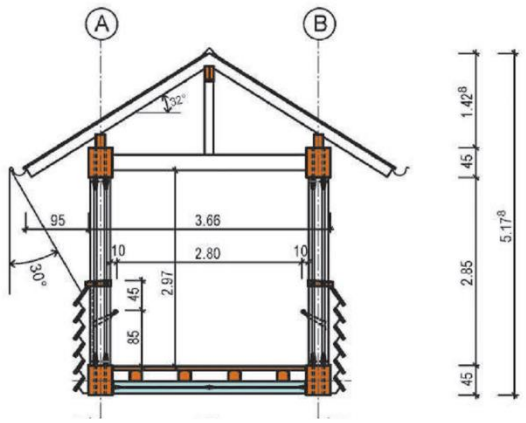

Abbildung 2: Wetterschutz DIN 1995-2, Quelle: RPF

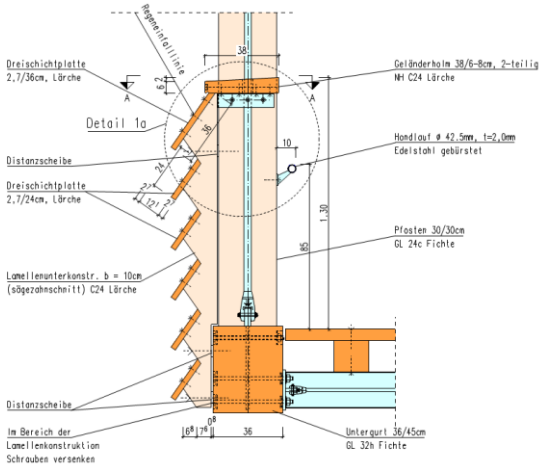

Abbildung 3: Details Wetterschutzlamelle, Quelle: Schmees & Lühn

Konstruktion

Die überdachte Fachwerkbrücke ist als 3-Feld-System gerechnet und hat zwischen dem Fluss Wiese und der Bundesstraße 317 einen Auflagerbock aus Stahlprofilen. Bei dem vertikalen Fachwerk als Haupttragwerk bestehen die Ober- und Untergurte aus BSH GL 32h in den Abmessungen 36/45 bzw. 2x 17/45. Die Pfosten wurden aus BSH GL 24c in den Abmessungen 30/30 hergestellt. Um die gewünschte Leichtigkeit des Bauwerkes zu realisieren, wurden die ursprünglich aus Holz stammenden Diagonalen aus 1 bzw. 2 Stahldiagonalen M36 als Zugstabsystem ausgeführt. Für den oben liegenden Verband wurden zwischen den Obergurten des Haupttragwerkes Druckpfosten aus BSH GL 24c mit dem Querschnitt 10/24 und Diagonalen aus BSH GL 24c/GL 32h eingebaut. Der unten liegende Verband besteht aus Querträgern HEA 200, S235 und kreuzweise angeordneten Stahldiagonalen M20 bzw. M27 als Zugstäbe. Dieser Verband wurde zwischen den Untergurten des Haupttragwerkes ausgeführt. Im Bereich der Bundesstraße wurde der Untergurt zur Aufnahme der Anprallasten zusätzlich durch einen HEB 240 S235 verstärkt. Auf den Querträgern sind Längsträger aus Lärche 16/18 und ein Bohlenbelag aus Lärche 6/18 aufgebracht.

Als Einwirkung auf das Bauwerk wurden neben den üblichen Beanspruchungen aus Eigengewicht, Schnee, Wind und den Verkehrslasten auch die Einflüsse durch Temperatur- und Feuchteänderung und einseitige Erwärmung durch Sonneneinstrahlung berücksichtigt. Zusätzlich musste der Brückenteil über die Bundesstraße auf Anprall von Fahrzeugen nachgewiesen werden. Da das Bauwerk in der Erdbebenzone 3 liegt, musste auch dieser Lastfall berücksichtigt werden.

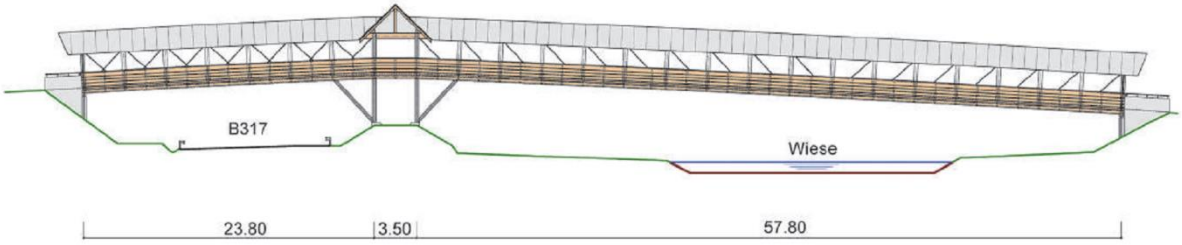

Abbildung 4: Übersichtsplan, Quelle: HSW-Ingenieure

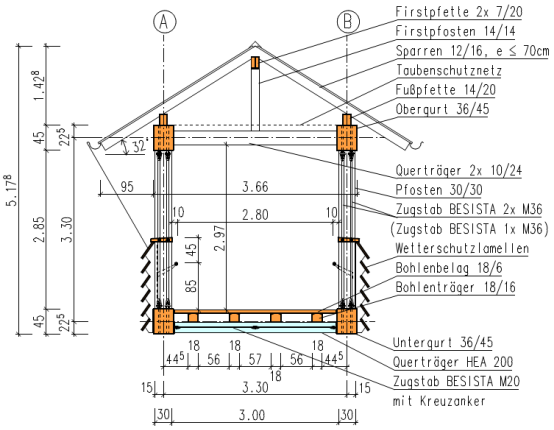

Abbildung 5: Regelquerschnitt über Wiese, Quelle: HSW-Ingenieure

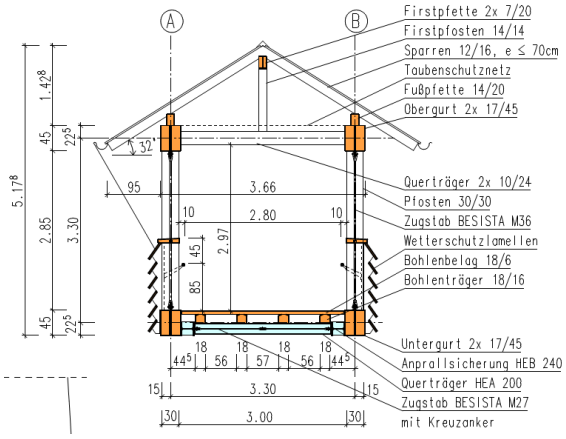

Abbildung 6: Regelquerschnitt über B 317, Quelle: HSW-Ingenieure

Abbildung 7: Vormontage, Quelle: Schmees & Lühn

Abbildung 8: Fertiger Zuganschluss, Quelle: Markus Ruf

Abbildung 9: Ansicht Wiese, Quelle: Markus Ruf

Abbildung 10: Ansicht B317, Quelle: Markus Ruf

Abbildung 11: Eingang Brücke, Quelle: Markus Ruf

Abbildung 12: Innenansicht, Quelle: Markus Ruf

Bauwerksdaten

Gesamtlänge zwischen Endauflagern:	85,1m
Einzelstützweiten:	23,8m; 3,5m; 57,8m
Gesamtbreite:	5,5m
Breite zwischen Handläufen:	2,8m
Gesamthöhe:	5,178m
Durchgangshöhe:	2,85m
Kreuzungswinkel:	100 gon

Erfahrungen und Erkenntnisse nach 18 Monaten Nutzung

Am 20. September 2016 hat die offizielle Übergabe stattgefunden. Schon knapp zwei Monate nach Nutzungsbeginn, im November 2016, wurden erste Wassereintritte in die Holzkonstruktion und typische LESS-Erscheinungen bemerkt.

Abbildungen 13-15: Laubansammlungen im Untergurtbereich; Wasserspuren hinter der Lamellenschalung; Wasserspuren auf dem Untergurt, Quelle: Schmees & Lühn

Aufgrund der Annahme, dass es sich womöglich um ein außergewöhnliches Starkregenereignis gehandelt hat, welches sich nicht regelmäßig wiederholen wird, wurden keine zusätzlichen Maßnahmen zu der fortlaufenden Beobachtung und der Durchführung von

Holzfeuchtemessungen eingeleitet. Darüber hinaus können Schäden durch LESS vermieden werden, da die Brücke regelmäßig – nahezu wöchentlich – durch die Stadt Lörrach gereinigt wird.

Die Holzfeuchtemessungen wurden im Zuge des Forschungsprojektes «ProTimb» durchgeführt. Im Winter 2017/2018 konnten im Bereich der Untergurte erhöhte Holzfeuchten festgestellt werden. Über dem Vorland war ein konstanter Anstieg der Holzfeuchte ab September 2017 in den Spitzen bis zu 30% bemerkbar. Im Flussbereich zeigten sich in den Wintermonaten November und Dezember 2017 schlagartige Anstiege der Holzfeuchte um mehr als 50%.

Im Februar 2018 kam es in Lörrach zu vermehrtem Schneefall. Dabei trat eine Anhäufung von größeren Schneemassen innerhalb der Brücke auf. Beide Untergurte waren auch nach dem Räumen der Brücke vollständig mit Schnee bedeckt.

Als Konsequenz der Messungen in den Wintermonaten wurden im März 2018 eine intensive Inaugenscheinnahme und weitere Holzfeuchtemessungen durch den Tragwerksplaner und die ausführende Firma durchgeführt. Dabei konnte festgestellt werden, dass gegenüber den ersten Auffälligkeiten aus dem November 2016 deutlich mehr Wasserspuren sichtbar waren. Es hat sich somit bei dem Wetterereignis im Jahr 2016 um keinen Einzelfall gehandelt. An den freien Bauteiloberflächen und in den Bereichen der Monitoringsysteme konnten keine erhöhten Holzfeuchten festgestellt werden. In den Bereichen der Anschlussknoten und Fugen der Untergurte wurden jedoch bedenkliche Holzfeuchten ermittelt. Bei dem Begutachten der einzelnen Bauteile konnten außerdem auch an den äußeren Holzfasern des Untergurtes deutliche Abschilferungen erkannt werden, die auf einen ständigen Feuchtewechsel hindeuten. Zusätzlich wurden deutliche Dreck- und Feuchtespuren in den Bereichen der Knotenbleche am Übergang der Zugstäbe in die Untergurte bemerkt. Die Lamellenschalung, die diese Bereiche eigentlich vor Feuchte schützen soll, wies auch an den Unterseiten verstärkte Wasserspuren auf.

Abbildungen 16-18: Verstärkte Wasserspuren unterhalb der Lamellenschalung; «Abschilferung» der äußeren Holzfasern am Untergurt; Dreck- und Feuchtespuren im Bereich der Knotenbleche am Übergang des Zugstabes in den Untergurt, Quelle: Schmees & Lühn

Im Zeitraum der Begutachtung traten unterschiedliche Wind- und Regenverhältnisse auf, wodurch die Beobachtung eines scheinbar typischen Wetterereignisses möglich war.
Es herrschte ein spürbarer Windzug auf Kopfhöhe, der sich im Zeitraum eines kurz anhaltenden, circa zehn minütigen Starkregens fast sturmartig entwickelte und danach wieder abklang, jedoch weiterhin merklich vorhanden war.
Es wurde deutlich, dass auch schon bei leichtem Regen eine Befeuchtung der Abdeckung der Lamellenschalung bis an die Innenkanten heran stattfand. Im Starkregenfall wurde die der Windrichtung gegenüberliegende Seite der Brücke komplett nass, sodass sogar stehendes Wasser auf dem Untergurt und in den Fugen der Knotenblech-Anschlüsse auftrat. Die Fachwerkpfosten waren auf der dem anströmenden Wind zugewandten Seite auf circa zwei Drittel ihrer Höhe befeuchtet, obwohl dieser Bereich gemäß den Vorgaben der DIN EN 1995-2 durch einen ausreichenden Dachüberstand vor Feuchte geschützt sein sollte.

Abbildungen 19-21: Befeuchtung bis an die Innenkante bei leichtem Regenfall;
Wind von rechts – gegenüberliegende Seite komplett nass; Stehendes Wasser, Quelle: Schmees & Lühn

Abbildungen 22-24: Fachwerkpfosten auf 2/3 der Höhe befeuchtet; Stehendes Wasser im Bereich der Knotenbleche; Herabtropfendes Wasser vom Handlauf und den Zugstangen, Quelle: Schmees & Lühn

Nach Abklingen des beobachteten Wetterereignisses konnte festgestellt werden, dass die Holzoberflächen innerhalb einer knappen Stunde abtrockneten und die Außenseiten der Untergurte absolut trocken blieben, ohne dass Wasserspuren vorhanden waren. Die wichtigste Erkenntnis bestand allerdings darin, dass die Bewässerung des Untergurtes nicht «durch» die Lamellenverschalung erfolgt, sondern von der gegenüberliegenden Seite aus.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die Lamellenverschalung zum Schutz des Untergurtes an der Außenseite prinzipiell gut funktioniert. Der Dachüberstand ist jedoch trotz normgerechter Ausführung am Standort Lörrach nicht ausreichend. Demnach sind die Empfehlungen nach DIN EN 1995-2 für eine geschützte Brücke beim thematisierten Bauwerk nicht zielführend. Ohne weitere zusätzliche Schutzmaßnahmen ist die Dauerhaftigkeit der Tragkonstruktion für die angestrebten 60 Jahre nicht gegeben.

Ursachen für den nicht ausreichenden konstruktiven Holzschutz

Nach DIN EN 1995-2 wird der Regeneinfallwinkel auf Bauwerke zu maximal 30 Grad aus der vertikalen Ebene angenommen. Die Brücke ist gemäß dieser Annahme konstruiert. Das Schadensbild tritt jedoch ein, weil die tatsächliche Regeneinfalllinie am Standort Lörrach erheblich von den Angaben der Norm abweicht. Messungen zufolge weist die Einfalllinie eine Neigung von 20 Grad aus der horizontalen Ebene auf.

DIN EN 1995-2:
max. 30° aus der vertikalen Ebene

Standort Lörrach:
20° aus der horizontalen Ebene

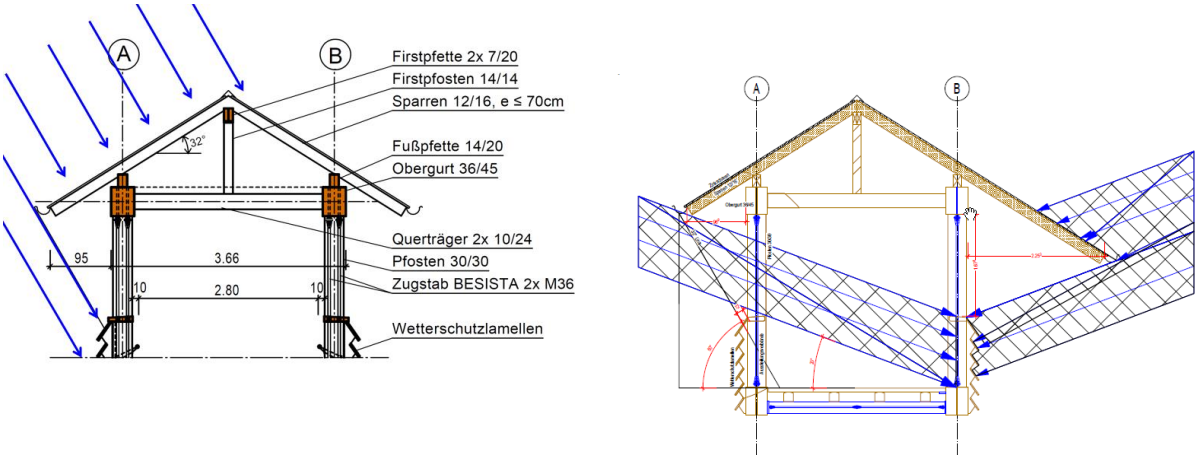

Abbildung 25: Gegenüberstellung der Regeneinfalllinie nach Norm und der tatsächlichen Regeneinfalllinie am Standort Lörrach, Quelle: Schmees & Lühn

Die starke Abweichung der tatsächlichen Regeneinfalllinie von den Angaben der Norm hat vermutlich verschiedene Gründe. Zu benennen ist hier einerseits die Topographie des Standortes, die durch eine sich verjüngende und in der Höhe ansteigende Talstruktur (Richtung Feldberg) und eine trompetenartige Aufweitung im Bereich der Brücke erhöhte Windgeschwindigkeiten senkrecht zur Brückenlängsachse begünstigt. Andererseits entsteht durch die geschlossenen Bauteile der Brücke eine Art «Sperreffekt» im Windkanal, der dazu führt, dass im Bereich der Öffnungen der Brücke die Windgeschwindigkeit zusätzlich erhöht wird und ein Feuchteeintrag in einem flachen Einfallwinkel begünstigt wird. Darüber hinaus wurden die Windverhältnisse am Bauwerksstandort genauer untersucht. Der Wind kommt vorwiegend aus westlicher- und östlicher, bzw. nordwestlicher und nordöstlicher, bzw. westsüdwestlicher Richtung und weht somit stets senkrecht bzw. leicht schräg zur Brückenlängsachse.

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich die grundsätzliche Frage, ob die 30°-Regel gemäß der DIN EN 1995-2 generell nicht funktioniert oder die Brücke über die B 317 und den Fluss Wiese in Lörrach nur eine Ausnahme darstellt.

Zur Beurteilung wird ein weiteres Beispiel herangezogen. Die überdachte Brücke bei Schopfheim ist circa 16 Kilometer vom Standort Lörrach entfernt und wurde im Jahr 1994 gebaut. Sie weist den gleichen Querschnitt wie die ehemalige Brücke in Lörrach auf und wurde erst 2014, 20 Jahre nach Fertigstellung, durch eine seitliche Lamellenschalung analog der neuen Brücke in Lörrach zusätzlich vor Bewitterung geschützt. Die letzte Begehung der Brücke erfolgte im Jahr 2017 mit dem Resultat, dass keinerlei Feuchteschäden bzw. Eintrag von Feuchte in das Bauwerk festgestellt werden konnten.

Abbildung 26: Überdachte Brücke bei Schopfheim, Quelle: RP Freiburg

Abbildung 27: Brücke bei Schopfheim mit nachgerüstetem seitlichen Wetterschutz, Quelle: RP Freiburg

Vergleicht man die beiden Bauwerke bezüglich der Windrichtungsverteilung wird deutlich, dass die örtlichen Verhältnisse einen entscheidenden Einfluss auf die Anwendung der 30°-Regel nach DIN EN 1995-2 haben. Im Unterschied zu der Brücke in Lörrach ist die Längsachse der Brücke bei Schopfheim parallel zur Hauptwindrichtung ausgerichtet. Außerdem liegt die Brücke geschützt hinter einem Berg, somit ist eine günstigere Topographie vorhanden. Die 30°-Regel der DIN EN 1995-2 funktioniert also in der Regel schon, allerdings nicht an jedem Standort!

Brücke bei Schopfheim:
Wind parallel zur Brückenlängsachse

Brücke in Lörrach:
Wind senkrecht zur Brückenlängsachse

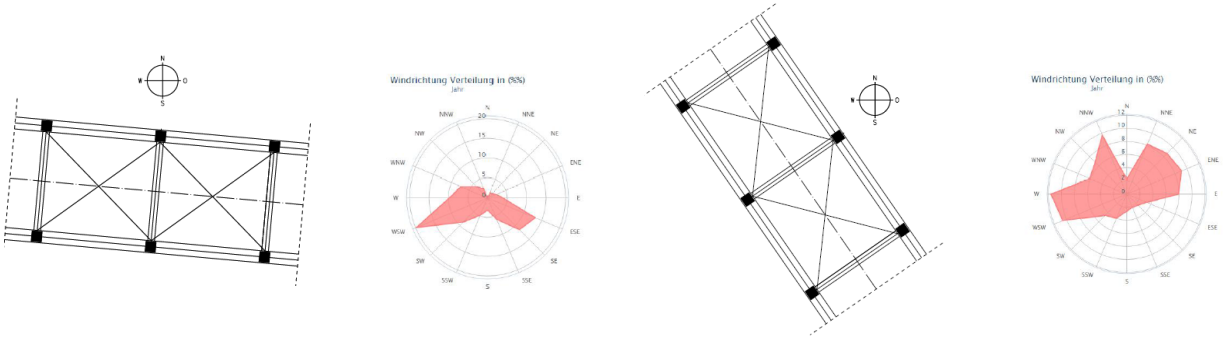

Abbildung 28: Vergleich der Windrichtungsverteilung der Brücken bei Schopfheim und in Lörrach, Quelle: Zeichnung: HSW-Ingenieure / Windrose: Windfinder.com

Erforderliche Schutzmaßnahmen

Um die angestrebte Lebensdauer von 60 Jahren erreichen zu können, benötigt die Brücke in Lörrach wirksame zusätzliche Schutzmaßnahmen.
In ersten Überlegungen wurde beschlossen, dass die Transparenz und die Helligkeit innerhalb der Brücke so gut wie möglich erhalten bleiben sollen. Diese Forderung kann durch eine Verlängerung des Dachüberstandes oder ein Höherführen der bereits bestehenden Lamellenschalung nicht erfüllt werden. Da der Bereich zwischen Lamellenschalung und Obergurt jedoch unumgänglich verschlossen werden muss, um das weitere Eindringen von Feuchte zu verhindern, müssen Kompromisse gefunden werden.

Eine mögliche Lösung stellt das Schließen des kritischen Bereiches mit einer transparenten und hinterlüfteten «Fassade» aus 12 mm starkem Acrylglas dar. Im Rahmen der Nachrüstung des Wetterschutzes wurden dafür vier Varianten ausgearbeitet. Alle Varianten beinhalten eine (Teil-) Verkleidung mit Plexiglas, um den optischen Anforderungen gerecht zu werden. Die Variante 1 sieht einen vollständigen Verschluss mit Plexiglas vor. Alternativ können die Felder auch nur teilweise verglast werden und im oberen Bereich mit Holzlamellen verschlossen werden (Variante 2). Eine weitere Möglichkeit bietet der abwechselnde Verschluss mit Plexiglas und Holzlamellen (Variante 3), beziehungsweise mit Plexiglas und Blech (Variante 4).
Zu beachten ist bei allen Varianten die Anpassung der Lastansätze infolge der sich verändernden Windlasten aufgrund der erhöhten Bezugsfläche. Dies muss statisch geprüft werden.

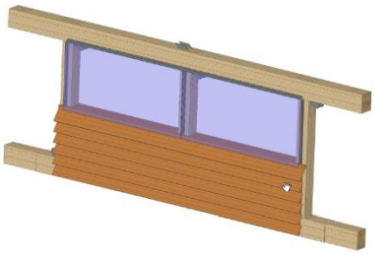

Abbildung 29: Schutz durch eine hinterlüftete Fassade, Quelle: Schmees & Lühn

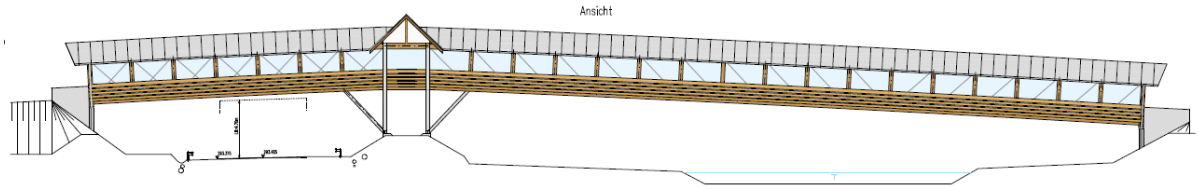

Abbildung 30: Variante 1 – Felder mit Plexiglas verschließen, Quelle: Regierungspräsidium Freiburg

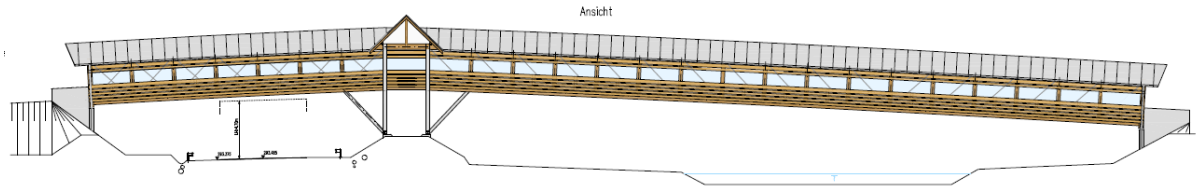

Abbildung 31: Variante 2 – Felder mit Plexiglas und im oberen Bereich mit Holzlamellen verschließen, Quelle: Regierungspräsidium Freiburg

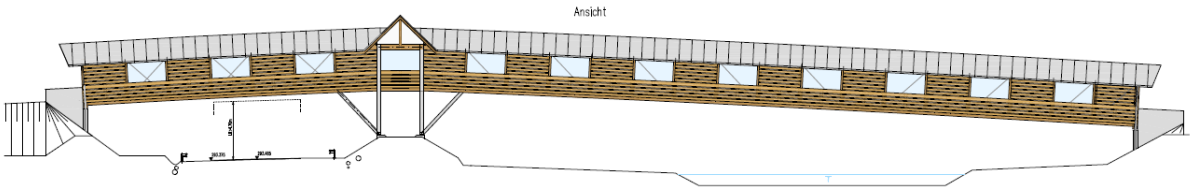

Abbildung 32: Variante 3 – Felder mit Plexiglas und Holzlamellen im Wechsel verschließen, Quelle: Regierungspräsidium Freiburg

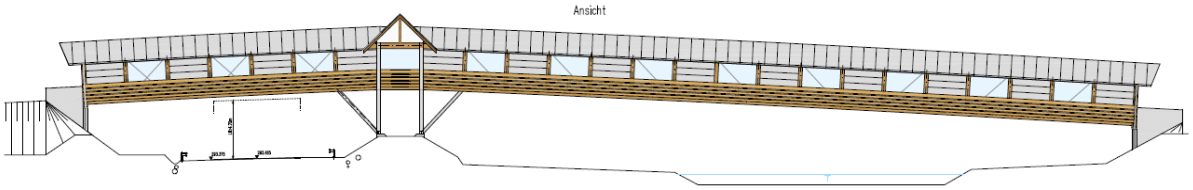

Abbildung 33: Variante 4 – Felder mit Plexiglas und Blech im Wechsel verschließen, Quelle: Regierungspräsidium Freiburg

Alternativ zu der Verkleidung mit Plexiglas wurde auch ein Schutzsystem mittels Metallgeweben in Betracht gezogen. Diese bieten den Vorteil einer besseren Durchlüftung. Im Rahmen einer Semesterarbeit von Studenten der Berner Fachhochschule wurden Untersuchungen durchgeführt, um die Schlagregenwiderstandsfähigkeit der Gewebe zu bestimmen. Dabei wurde festgestellt, dass Metallgewebe durchaus zur Abwehr von Schlagregen geeignet sind, wenn ein ausreichender Mindestabstand (ca. 50 cm) zwischen dem Gewebe und der zu schützenden Konstruktion eingehalten wird. Aus Kostengründen wird diese Variante jedoch nicht weiter betrachtet.

Nach derzeitigem Stand ist noch keine Entscheidung für eine der Varianten gefallen und weitere Alternativen werden erarbeitet.

Erkenntnisse und Möglichkeiten für eine zukünftige fachgerechte und dauerhafte Planung

Die fachgerechte und dauerhafte Planung von modernen Fachwerksbrücken aus Holz ist – neben den direkten Auswirkungen auf das jeweilige Bauwerk – wichtig, um die Attraktivität von Holzbrücken zu stärken und Vorbehalte gegenüber ihrer geringen Lebensdauer zu widerlegen.

Das Beispiel der Fachwerkbrücke in Lörrach hat gezeigt, dass vor allem die individuelle und standortbezogene Planung unter Berücksichtigung der Topographie und des Mikroklimas entscheidend ist, um den konstruktiven Holzschutz wirksam auszuführen.

Darüber hinaus ist die Planung und Umsetzung nach dem derzeitigen Stand der Technik unter Berücksichtigung von späteren Nachrüstmöglichkeiten durchzuführen. Es sollten daher von vorn herein Reserven bei der Tragwerksplanung beachtet werden. Außerdem sind eine intensive Beobachtung und das Monitoring des fertigen Bauwerkes in den ersten Jahren nach der Fertigstellung sinnvoll.

Wenn alle Risiken ausgeschlossen werden sollen, sollten Fachwerkbrücken komplett geschlossen ausgeführt werden. Da die funktionierende, voll verschalte Fachwerkbrücke aus architektonischer Sicht oftmals nicht mehr zeitgemäß ist, müssen neue Konzepte unter Einbezug der Möglichkeiten moderner Baustoffe wie Glas, Acrylglas, Stahl- und Textilgewebe, entwickelt werden.

Sollte die fachgerechte Umsetzung einer geschützten Fachwerkbrücke in Holzbauweise nicht möglich sein, oder vom Bauherren nicht gewollt sein, kann eine hybride Bauweise, zum Beispiel durch den Einsatz des robusteren Baustoffes Stahl für empfindliche Bauteile wie den Untergurt, Streben oder Pfosten, eine mögliche Alternative darstellen.

Projektbeteiligte

Bauherr:	Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Regierungspräsidium Freiburg
Planung:	Regierungspräsidium Freiburg Ref. 43 Ingenieurbau
Prüfingenieur:	Dipl.-Ing Rouven Erhardt, Pforzheim
Tragwerks- und Ausführungsplanung:	HSW-Ingenieure, Bad Oeynhausen
Ausführung:	Schmees & Lühn, Holz- und Stahlingenieurbau GmbH & Co. KG, Fresenburg